

**Die Größe des „Methodischen Meßfehlers“
der Tonometrie am Auge des Kaninchens und
des Menschen mit dem elektrischen Tonometer**

Lothar Diehl

Aus der augenärztlichen Klinik der Universität München

Direktor: Professor Dr. W. ROHRSCHEIDER

Die Grösse des "Methodischen Messfehlers"
der Tonometrie am Auge des Kaninchens und
des Menschen mit dem elektrischen Tonometer

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfasst und einer Hohen Medizinischen Fakultät der

Ludwig - Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von

Lothar Diehl

aus

München

München 1958

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Priv.Doiz. Dr.H.J. Merté
Mitberichterstatter: Professor Dr. W. Rohrschneider
Dekan: Professor Dr. K. Kolle

Tag der mündlichen Prüfung: 11. September 1958



Die Grösse des "Methodischen Messfehlers"
der Tonometrie am Auge des Kaninchens und
des Menschen mit dem elektrischen Tonometer

Zur Bestimmung der intraokularen Druckverhältnisse stehen uns zwei Methoden zur Verfügung, die Manometrie und die Tonometrie.

Die Manometrie liefert bei entsprechender Exaktheit fast absolute Druckwerte und ist für gewisse tierexperimentelle Fragestellungen unentbehrlich (3, 4, 15). Speziell zur Eichung von Tonometern müssen wir auf diese Methode zurückgreifen (WESSELY, 18, 19 u.a.). Allerdings ist die Manometrie zur Beobachtung von Druckverhältnissen über längere Zeit praktisch ungeeignet, da mit ihr durch wiederholte Eröffnung des Bulbus eine Reizwirkung durch Hyperämie gesetzt wird, bzw. es kommt zu einer Transsudation einer eiweissreichen Flüssigkeit aus der Blutbahn in die Augenkammern. Ausserdem macht die Möglichkeit des Ausflusses von Bulbusflüssigkeit - wenn auch nur in kleinster Menge - sowie die Möglichkeit des Einstromes von Manometerflüssigkeit in den Bulbus die Manometrie von vorneherein zu einer relativ schwierigen Untersuchungsmethode. Für das menschliche Auge vollends dürfte dieser operative Eingriff nur in Ausnahmefällen in Frage kommen. Eine ausführliche Darstellung der manometrischen Methoden gibt E. SEIDEL (15).

Die Tonometrie, die zwar nur eine indirekte Methode mit relativen Druckwerten darstellt, erlaubt uns jedoch einen Vergleich der Druckschwankungen am gleichen Auge über längere Zeit. Diese schonende Art der Messung eignet sich besonders für das menschliche Auge.

Im Laufe der letzten Jahrzehnte wurden zahlreiche Modelle von Messgeräten für die Tonometrie angegeben, die sich alle in zwei Gruppen einordnen lassen, nämlich die der Applanations- und Impressionstonometer (MAKLAKOFF, ROMER, FICK-LIVSCHITZ, SCHIÖTZ, McLEAN, GRADLE, COMBERG, HARRINGTON, GRANT, BAILLART u.a.).

Die Applanationstonometer vermochten sich bisher nicht durchzusetzen (ROHRSCHEIDER und KÜCHLE, E. SEIDEL). Neuerdings hat jedoch GOLDMANN ein Applanationstonometer entwickelt, dem grosse praktische Bedeutung zukommt.

Die Entwicklung der Impressionstonometrie begann im Jahre 1905 mit der Schaffung des Tonometers von SCHIÖTZ, das sich sowohl für wis-

senschaftliche als auch für klinische Zwecke zu einem wichtigen Untersuchungsgerät entwickelt hat. Es besteht im wesentlichen aus einem stiftförmigen Zapfen, der mit einem bestimmten Gewicht belastet ist und auf die Cornea drückt. Der Zapfen bewirkt eine Eindellung der Hornhaut, die ihrerseits ein Mass für die Höhe des intraokularen Druckes ist. Dieser Druck wird auf einen mit dem Zapfen in Verbindung stehenden Zeiger übertragen. Die Höhe des Druckes wird in Skalenteilstrichen abgelesen.

Die absolute Höhe des Augenbinnendruckes kann auch mit diesem Instrument nicht bestimmt werden, da aus verschiedenen Gründen kein einfaches allgemeingültiges Verhältnis zwischen der Tiefe des Eindruckes und dem vor Aufsetzen des Tonometers vorhandenen intraokularen Druck besteht.

Die Impressionstonometer müssen stets manometrisch geeicht werden. Diese Eichung hat jedoch nur für das betreffende Auge Gültigkeit, an dem sie gewonnen wurde (WESSELY, 20); denn zahlreiche Faktoren nehmen Einfluss auf den Messwert des Augenbinnendruckes (Elastizitäts- und Rigiditätsverhältnisse (s. FRIEDENWALD, KALFA 21), Krümmung des Auges etc.), der mit dem gleichen Gewicht an verschiedenen Augen gewonnen wird.

In Fortführung der Impressionstonometrie nach SCHIÖTZ und anderer entwickelte die Fa. Müller in Chicago in den letzten Jahren ein Gerät, das aus einer Verbindung zwischen dem Tonometer von SCHIÖTZ und einer elektrischen Einrichtung besteht. Etwa wie beim EKG wird beim Benützen des Elektrotonometers in Verbindung mit einem Schreibgerät eine graphische Darstellung der Druckschwankungen ermöglicht. Dieses Gerät hat neuerdings erhebliche Bedeutung für die Glaukomforschung erlangt (6, 17). Durch fünf Minuten langes Aufsetzen des Tonometers senkrecht auf die Hornhaut gelingt es, den Widerstand, der dem Tonometer durch das Kammerwasser entgegengesetzt wird, zu bestimmen. Dieser Widerstand ist entscheidend abhängig vom intraskleralen Blutgefässnetz, von laminaren Venen, von Wasservenen, von der Beschaffenheit des corneoskleralen Trabekelwerks und dem Schlemm'schen Kanal. (17)

Diese "Dauertonometrie" wird als Tonographie bezeichnet. Grosse Verdienste um diese Methode erwarb sich GRANT (7), der die Tonographie im Jahre 1950 mathematisch ausbaute. Er wandelte die Auswirkung einer dosierten Kompression des Auges in einen Koeffizienten um, der den durch die Kompression erzeugten Verlust an intraokularem Volumen in cmm/min/mmHg ausdrückt. Damit schuf er die einzige klinisch verwertbare Methode zur Bestimmung des Kammerwasserabflusses am menschlichen Auge. Die noch in Frage kommende Fluoreszeinmethode nach GOLDMANN eignet sich nicht für den routinemässigen Untersuchungsbetrieb.

Da jedoch die Tonometrie vor allem im Tierversuch nicht unerhebliche Fehlermöglichkeiten bietet (POOS, 11 u.a.), die mit verschiedenen Faktoren zusammenhängen (u.a. auch Verrollung des Bulbus, Kneifen der Lider, vorgelegte Nickhaut, Anspannung des retractor bulbi, Erregung, Geräusche, Erschütterungen) und unbedingt berücksichtigt werden müssen, um irgendwelche Messergebnisse richtig beurteilen zu können, haben wir uns deshalb mit dem "methodischen Messfehler" des Elektrotonometers der Fa. MUELLER befasst. (Methodischer Messfehler der Tonometrie = Streubereich der Einzelmesswerte bei wiederholter Messung am Auge). Den "methodischen Messfehler" für das übliche Standardtonometer von SCHIÖTZ errechneten ROHRSCHEIDER und KÜCHLE (12). Mit der Tonometrie am Kaninchenauge befassten sich bisher ausserdem SCHMERL und STEINBERG (14). Letztere machten ihre Angaben in mm/Hg, was als nicht exakt bezeichnet werden muss (s.a. ROHRSCHEIDER und KÜCHLE), da ja - wie schon erwähnt - der Augenbinnendruck eine komplexe Grösse darstellt, die vom intraokularen Druck selbst, andererseits von allen die Elastizitäts- und Rigiditätsverhältnisse bestimmenden Faktoren, die aber beim Menschen relativ stark variieren können, abhängig ist. Manometrische Eichwerte haben deshalb, wenn man genau sein will, nur für das betreffende Auge Gültigkeit. Andererseits zeigt derselbe Zeigerausschlag des Tonometers nicht immer denselben absoluten Druckwert an, sondern er bezeichnet vielmehr nur ein Druckgebiet (13). H.K.MÜLLER (9, 10) zeigte, dass der wirkliche manometrisch gemessene Augendruck vom mit Gewicht 5,5 g und 7,5 g ermittelten tonometrischen Wert um ± 5 mm/Hg abweichen kann.

Am Kaninchenauge gewonnene Messergebnisse, die in mm/Hg angegeben werden, sind noch weniger verwertbar als die, die am menschlichen Auge erhalten und in mm/Hg angegeben werden, da die Dicke der Corneoskleralkapsel hier nur einen Bruchteil der Dicke der menschlichen Kapsel ausmacht. (5) Beim Kaninchenauge entsprechen auch tonometrisch ermittelte Messwerte einem höheren manometrischen Druck, als aus den entsprechenden Eichkurven des Gerätes hervorgeht (BLIEDUNG).

Wie ROHRSCHEIDER und KÜCHLE angeben, genügt nun in vielen Fällen die Beobachtung der Tonometeranzeige (des Gleichbleibens oder einer Änderung bei Versuchen am Einzelauge), um bei irgendwelchen Untersuchungen den z.B. im Experiment durch Operation oder Anwendung von Giften oder Medikamenten eventuell veränderten Augenbinnendruck des gleichen Auges entsprechend beurteilen zu können.

Allerdings ist es erforderlich, dass man weiss, inwieweit schon normalerweise Tonometermesswerte schwanken können. Um die Leistung des Elektrotonometers von V. MUELLER beurteilen zu können, führten wir deshalb wiederholte Messungen am Kaninchenauge und

vergleichsweise am menschlichen Auge durch, ohne Beziehungen zwischen intraokularem Druck und Tonometerausschlag zu berücksichtigen. Erst auf Grund der Kenntnis des Streubereiches der Einzelmesswerte desselben Auges vermag man dann experimentell gesetzte Änderungen des Augenbinnendruckes zu beurteilen.

Methodik

Die Kompression des Bulbus erfolgt mit Hilfe des Elektrotonometers der Firma MUELLER & CO. CHIKAGO. Es besteht aus dem eigentlichen Messkopf und dem Amperemeter mit Skala, an das eventuell ein automatisch registrierendes Schreibgerät angeschlossen werden kann. Die Amperemeterskala hat eine Einteilung, die gleichbedeutend ist mit der Skala des Tonometers von SCHIÖTZ. Die Einteilung hat aber den Vorteil, dass die Teilstriche viel weiter auseinandergezogen als bei letzterem und die dazwischen liegenden Skalenteile auf Fünftel (0,2) nochmals unterteilt sind. Dies erlaubt bei entsprechender Aufmerksamkeit eine viel genauere Ablesung.

Von grösserer Bedeutung für die Messgenauigkeit ist aber der Übertragungsmechanismus des Tonometers. Dieses besteht aus einem Metallzylinder, in dem sich eine Induktionsspule befindet. In der Zylinderbohrung läuft der Tonometerzapfen, der aus Messing und Eisen besteht und einen Induktionskern darstellt. Durch Bewegung des Stempels im elektromagnetischen Kraftfeld entsteht ein Induktionsstrom. Die Stärke des Induktionsstromes ist von der Stempelbewegung und damit von dem auf den Stempel ausgeübten Gesamtdruck abhängig. Das hochempfindliche Ampèremeter misst die Stärke des Stromes. Vom Handgriff aus wird der Tonometerkopf (Metallzylinder) nur von einer Drahtschlinge locker umfasst. Wenn das Tonometer einmal auf das Auge aufgesetzt ist, muss der Griff so gehalten werden, dass der Tonometerkopf nirgends von der Drahtschlinge behindert wird und völlig frei auf der Hornhaut ruht. Dadurch kann es nicht zu einem Verkanten oder Anheben des Tonometerkopfes kommen.

Mehr noch als beim SCHIÖTZ-Tonometer kommt es bei Versuchen mit dem Elektrotonometer am Kaninchen darauf an, das Auge in eine für eine exakte Messung geeignete Stellung zu bringen, nämlich so, dass das Tonometer möglichst genau vertikal zur horizontal liegenden Irisebene steht. Dies kann nur dann erreicht werden, wenn die Augenachse, (d.h. die Verbindungslinie zwischen vorderem und hinterem Augenpol) genau senkrecht steht. Wenn dies nicht der Fall ist, kann ein zur Irisebene vertikales Aufsetzen des Tonometers auf die Hornhaut zwar auch erfolgen, aber nur bei schiefer Haltung des Tonometers, was jedoch fehlerhaft ist, da es dann

relativ leicht zu einem Kippen oder Verkanten des Tonometerkopfes kommen kann. In solchen Fällen könnte man letztlich jeden beliebigen Wert ablesen. Um also für die einzelnen Messungen achsengerechte Stellungen zu erzielen, wurde das jeweilige Tier von einem Gehilfen möglichst rumpfnah an Vorder- und Hinterläufen erfasst und möglichst vorsichtig in Seitenlage so auf eine horizontale Tischplatte gelegt, dass Kopf und Hals des Tieres über die Tischplatte hinausragten. Der bequem dasitzende Untersucher erreicht durch passives Drehen des Tierkopfes um die Frontooccipitalachse mit der auf seinem Knie abgestützten linken Hand die richtige Stellung und elastische Fixation. Sehr wichtig ist nun die vorsichtige Spreizung der Lider mit Daumen und Zeigefinger der linken Hand, ohne einen Druck auf den Bulbus auszuüben. In einigen Fällen musste eine zusätzliche Hilfskraft die Nickhaut des Tieres abheben, damit der Untersucher die Messung mit der rechten Hand, den rechten Ellenbogen auf der Tischplatte abgestützt, durchführen konnte. Die Messung erfolgte jeweils nach ausreichender Anaesthesierung der Hornhaut mit 2%igem Cornecain. In einigen Fällen war es jedoch nicht möglich, besonders temperamentvolle Tiere und solche, die noch nie in einem Untersuchungsgang waren, ruhigzustellen. Sie wurden dann entsprechend vorsichtig auf einem geeigneten Gerät festgebunden. - Messfehler können auch dadurch entstehen, dass das Instrument zwar vertikal, aber exzentrisch auf den Bulbus aufgesetzt wird. Es ist also stets darauf zu achten, dass die Fläche des Messkopfes genau auf der Cornea zentriert ist.

Die Messungen am menschlichen Auge vollzogen sich naturgemäß einfacher. Nach der üblichen bequemen und flachen Lagerung des Patienten wurde die Hornhaut des Betreffenden mit 2 bis 3 Tropfen von 2%igem Cornecain anaesthetisiert. Um den Patienten fixieren zu lassen, benützten wir eine schwarze Kreismarke an der Zimmerdecke. Dadurch wurde eine Senkrechstellung der Augenachse erzielt. Der Kopf des Patienten liegt senkrecht unter dem Fixationspunkt. Die Lider wurden mit einem nichtmetallischen Lidöffner gespreizt, bzw. mit Daumen und Zeigefinger der Linken des Untersuchers vorsichtig zurückgeschoben und die Messung ausgeführt. Der zugehörige Wert wurde auf der Tonometerskala abgelesen und notiert.

Vor einer neuen Anwendung des Tonometers in einer Messerie wurde der Messkopf stets sorgfältig mit einem Desinfektionsmittel gereinigt. Es wurde erst dann gemessen, wenn das Desinfektionsmittel vollständig verdunstet war, um eine Hornhautschädigung zu vermeiden. Letztere wird ja ohnedies, wenn auch nur in ganz geringem Mass und schnell vorübergehend durch Cornecain gesetzt.

Messungen an narkotisierten Kaninchen (z.B. Urethannarkose oder muskelerschlaffende Pharmaka, wie Dihydroxymethylphenoxypropan)

wurden nicht vorgenommen. Durch Anwendung dieser Mittel wird zwar die Messung erleichtert, sie rufen aber eine Senkung des Augenbinnendruckes in zum Teil beträchtlicher Höhe hervor, wodurch die Beurteilung tierexperimentell hervorgerufener Tensionsänderungen bedeutend erschwert oder sogar unmöglich gemacht wird (s.a. ROHRSCHEIDER u. KÜCHLE). Ausserdem könnten solche Pharmaka in relativ kurzen Zeitabständen nicht in unbeschränkter Menge angewandt werden.

Untersuchungsergebnisse

Wir führten unsere Messungen an 30 nicht narkotisierten Kaninchen und 25 Menschen durch. Der Augendruck war in all diesen Fällen nicht pathologisch erhöht (einige Tiere waren minimal hypoton). An jedem der 60 Augen wurden beim Kaninchen 8-10 Einzelmessungen durchgeführt (7,5 g Gewicht). Obwohl zwischen den einzelnen Messungen ein Zeitraum von 3 Minuten lag, war nach unseren Beobachtungen eine unerwünschte drucksenkende Massagewirkung deutlich. Das Auftreten dieses Massageeffektes, der bei der Untersuchung mit dem SCHIÖTZ-Tonometer nicht festgestellt werden konnte, dürfte mit der durch die Konstruktion des Elektrotonometers bedingten Messtechnik zusammenhängen; denn der von einer Drahtschlinge locker umfasste Tonometerkopf ist sehr beweglich und es bedarf im Gegensatz zu Versuchen mit dem Tonometer von SCHIÖTZ zuweilen relativ längerer Zeit, den Messkopf in die für die Messung richtige Stellung zu bringen. Das Bestreben des Untersuchers, den Tonometerkopf, der leicht kantet oder kippt, möglichst rasch reibungsfrei auf der Hornhaut zu zentrieren, wird durch das unruhige Kaninchenauge erschwert. Für diese Erklärung spricht, dass in Übereinstimmung mit den Untersuchungen von ROHRSCHEIDER und KÜCHLE (Tonometer von SCHIÖTZ) ein Massageeffekt am menschlichen Auge auch bei unseren Untersuchungen praktisch nicht nachzuweisen war, da letzteres durch Fixation gut ruhigzustellen und die Messung schneller durchzuführen ist. - Der Massageeffekt war in manchen Fällen so ausgeprägt, dass am Schluss einer Messerie von 8-10 Einzelmessungen ein mehr oder minder kontinuierlicher Druckabfall von 4-5 Tonometerteilstrichen festzustellen war.

Aus den an jedem einzelnen Auge gewonnenen 8-10 Messwerten wurde der Mittelwert errechnet und dann die mittlere Abweichung der Einzelbeobachtungen von diesem nach der Formel

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum d^2}{n-1}}$$

von rund $\sigma = 1,2$ (Skalenteilstrichen). Wenn man wie üblich, als möglichen biologischen Streubereich, in den ja 99,7 % aller Ein-

zelbeobachtungen fallen, den dreifachen (3σ) mittleren Fehler zugrundelegt, kommt man auf 3,6 Skalenteilstriche als "methodischen Messfehler" der Tonometrie, was als ein für tierexperimentelle Untersuchungen zu wenig genaues und nicht verwertbares Ergebnis anzusehen ist.

Wir wendeten deshalb - wegen der eben zu bemerkenden drucksenkenden Massagewirkung, der großen Empfindlichkeit und der höheren Ablesegenauigkeit des Elektrotonometers - eine andere Messtechnik am Kaninchenauge an als ROHRSCHEIDER und KÜCHLE mit dem SCHIÖTZ-Tonometer.

Der Skalenwert jeder Einzelmessung am Auge wurde von uns durch dreimaliges kurz hintereinander erfolgendes Aufsetzen des Tonometers festgelegt, sodass also nun 24-30 Messungen pro Auge ausgeführt wurden. Eine Messung (Messgruppe) besteht also aus drei Einzelmessungen. Der Mittelwert einer Messgruppe wurde von uns zur Ausrechnung der Streuung σ benutzt. Dabei ergab sich ein mittlerer Messfehler von $\sigma = 0,4$. Diese Messtechnik erwies sich wegen der Empfindlichkeit des Gerätes, wegen der Massagewirkung und anderer im Einzelfall nur schwer erfassbarer Fehlermöglichkeiten als notwendig.

Das Elektrotonometer von V. MUELLER registriert durch Pulsieren des Bulbus hervorgerufene Druckdifferenzen (Erregung etc.), die ohne Narkose (die ihrerseits wieder Fehlermöglichkeiten bietet) nicht auszuschalten sind, wesentlich genauer als das SCHIÖTZ-Tonometer. Jede kleinste Änderung des Augenbinnendruckes wird aber von dem - früher beschriebenen - hoch empfindlichen Messgerät wahrgenommen und auf den Zeiger übertragen. Auch durch gute Messtechnik und gute Ablesegenauigkeit gelingt es wegen des ständigen leichten Pendelns des Zeigers selten, mit einer Messung einen brauchbaren Wert zu erhalten. Erst durch Beobachtung der Zeigerausschläge bei dreimaligem kurz hintereinander folgendem Aufsetzen des Tonometers wird man in die Lage versetzt, einen brauchbaren Mittelwert aus den drei Messwerten zu errechnen und daraus denn einen durchschnittlichen mittleren Messfehler von $\sigma = 0,4$ abzuleiten. Der "methodische Messfehler", berechnet aus 1563 Einzelmessungen (512 3er Messgruppen; einige Messgruppen setzen sich aus vier Einzelmessungen zusammen), beträgt also $\sigma = 1,2$. Nur in 1,4 % aller Einzelmessungen kam ein Abweichen eines Einzelmesswertes vom mittleren Messwert einer Messgruppe vor. 98,6 % aller Messergebnisse lagen also innerhalb des Fehlerbereiches von $\pm 1,2$ Teilstrichen.

T a b e l l e I :

Häufigkeitsverteilung der Abweichung sämtlicher Einzelmessungen vom jeweiligen Mittelwert der einzelnen Messgruppen (8-10 Messgruppen zu je 3 Messungen an jedem Auge)

Abweichung des Einzelmesswertes vom mittleren Messwert einer Messgruppe (3 Einzelmessungen eines Auges) i. Skalenteilstrichen	Häufigkeit (Zahl der Einzelmessungen)	Anteil an der Gesamtzahl der Einzelmessungen
+ 0,0	315	20,1 %
+ 0,1	233	14,9 %
+ 0,2	319	20,4 %
+ 0,3	229	14,6 %
+ 0,4	128	8,2 %
+ 0,5	102	6,5 %
+ 0,6	77	4,9 %
+ 0,7	46	2,9 % ~ 3,0
+ 0,8	33	2,1 %
+ 0,9	15	~ 0,9 %
+ 1,0 - 1,2	44	2,0 %
+ 1,2 - 1,5	22	1,4 %
	1563	~ 100 % (99,8%)
Streubereich des mittleren Messfehlers von + 0 bis + 1,5 Teilstrichen		Durchschnittlicher mittlerer Messfehler = 0,40 (3facher = 1,20)

T a b e l l e II :

Mittlerer Messfehler der Tonometrie am Kaninchenauge

Grösse des mittleren Messfehlers in Skalenteilstrichen	Häufigkeit (Anzahl der 3er Messgruppen)
+ 0,0 bis + 0,2	221
+ 0,3 " + 0,4	133
+ 0,5 " + 0,7	102
+ 0,8 " + 1,2	44
+ 1,3 " + 1,7	12
	512 3er Messgruppen

Beim menschlichen Auge führten wir 8-12 Einzelmessungen pro Auge ebenfalls mit dem 7,5 g Gewicht aus und bestimmten nach Errechnung des jeweiligen Mittelwertes der Messerie ζ . ζ wurde dabei mit 0,33 ermittelt. Der dreifache mittlere Messfehler beträgt also rund 1,0 ("Methodischer Messfehler" der Tonometrie am Menschenauge). 98,5 aller Messungen fielen in den Fehlerbereich von $\pm 1,0$ Teilstriichen. Der Einzelmesswert wich nur in 1,5% aller Messungen vom mittleren Messwert einer Messerie ab.

T a b e l l e III :

Häufigkeitsverteilung der Abweichung sämtlicher Einzelmessungen vom jeweiligen Mittelwert der einzelnen Augen

Abweichung des Einzelmesswertes vom mittleren Messwert eines Auges	Häufigkeit (Zahl der Einzelmessungen)	Anteil an der Gesamtzahl der Einzelmessungen
+ 0,0	70	14,9 %
+ 0,1	109	23,2 %
+ 0,2	96	20,4 %
+ 0,3	64	13,6 %
+ 0,4	45	9,6 %
+ 0,5	32	6,8 %
+ 0,6	23	4,9 %
+ 0,7 - 1,0	24	5,1 %
+ 1,1 - 1,8	7	1,5 %
	<u>470</u>	<u>100 %</u>

T a b e l l e IV:

Mittlerer Messfehler der Tonometrie am Menschenauge

Grösse d. mittleren Messfehlers in Skalenstrichen	Häufigkeit (Anzahl der Augen)
0,1 - 0,2	21
0,3 - 0,4	22
0,5 - 0,68	<u>7</u>
	50

Durchschnittlicher mittlerer Messfehler = 0,33

dreifacher mittlerer Messfehler = rd. 1,0

Beim menschlichen Auge war die Sicherung eines Einzelwertes durch dreifache kurz hintereinander erfolgende Messung nicht erforderlich; allerdings müssen wir feststellen, dass trotz üblicher 3minütiger Messpause auch hier eine gewisse drucksenkende Massagewirkung festzustellen ist. Sie ist hier allerdings unbedeutend.

Diskussion

Wir glauben, dass die erhaltenen Ergebnisse bei entsprechend vorsichtiger Handhabung des Gerätes, vor allem, wenn das mit einem sehr beweglichen Messkopf ausgestattete Instrument genau vertikal auf die Cornea gesetzt wird, gut sind. Geringfügige Verrollungen des Bulbus, leichtes Kneifen der Lider (vor allem nach ungenügender Anaesthesierung) erzeugen erhebliche Schwankungen des Zeigers auf der Skala.

Gerade beim Elektrotonometer - das muss immer wieder betont werden - ist es von grösster Bedeutung, wenn die Messungen jeweils von den gleichen Untersuchern durchgeführt werden, die gut aufeinander eingespielt sind. GRANT fordert in seiner "Tonography in Chronic Glaucoma" eine mindestens zweiwöchige praktische Übungszeit unter Aufsicht, ehe es möglich ist, mit diesem zwar sehr guten, aber auch sehr empfindlichen Gerät genaue und zuverlässige Werte zu erhalten.

Es ist von Bedeutung, dass die Stellung des Zeigers - der immer etwas pendelt - abgelesen wird, die dem Mittelwert einer geringen Skalenschwankungsbreite entspricht. Es hat dies Vor- und Nachteile. Einem feinfühligem und geübten Untersucher gelingt es, sehr genaue Werte abzulesen, die das in seinem Mechanismus gröbere Tonometer von SCHIÖTZ kaum angeben kann (weniger empfindliches Zeigersystem etc.). Andererseits muß das Messinstrument relativ lange aufgesetzt werden, nämlich so lange, bis der ablesende Untersucher den ihm zutreffend erscheinenden Wert festgestellt hat. Dies verlangt vom messenden Untersucher relativ langes, gleichmässig ruhiges Aufsetzen des Gerätes. Dabei gelingt es jedoch bei entsprechendem Zusammenspiel, sehr gute Werte zu erzielen.

Wie nun aus Tabelle II hervorgeht, ist der individuelle Messfehler von Tier zu Tier recht unterschiedlich gross. Bei 512 Messgruppen an 30 Kaninchen liegt zwar das Gros der Messungen sehr günstig, nämlich in einem Bereich von $\pm 0,0$ bis $\pm 0,4$ Skalenteilstreichen Streubreite, aber eine noch recht erhebliche Zahl in einem Streubereich von $\pm 0,5$ bis ± 1 ; 2 Teilstreichen.

Wie schon ROHRSCHEIDER und KÜCHLE sind auch wir der Auffassung, dass der letzteren Tatsache bei Versuchszwecken durch entsprechende Tierausswahl Rechnung getragen werden sollte. Eventuell käme eine Injektion von 1 ccm 2%igem Novocain in den äusseren Lidwinkel in Frage, um durch Erzielung einer Akinesie das Zukneifen der Lider zu verhindern, das ja, wie schon erwähnt, oft erhebliche Drucksteigerungen hervorruft (COMBERG und STÖWER, 2).

Bei Messungen mit dem Elektrotonometer von V. MUELLER verwendet man dann nach Auswahl geeigneter Tiere den 2 bis 3fachen mittleren Messfehler, durch jeweils mindestens 8 bis 10 Messgruppen (zu jeweils 3 Einzelmessungen) ermittelt, ohne hierbei irgendwelche vorhandenen Massageeffekte zu berücksichtigen. Wir glauben, dass für Tierversuche mit dem modernen Elektrotonometer, durch diese Vorarbeit, nämlich der Bestimmung des 2 bis 3fachen Messfehlers gute Resultate bei experimentell gesetzten Druckänderungen zu erhalten sind.

Zusammenfassung

An 30 Kaninchen (60 Augen) wurde untersucht, wie weit bei wiederholter Tonometrie desselben Auges die einzelnen Messwerte voneinander abweichen können. An 25 Menschen wurden die gleichen Versuche durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass bei Messungen am Tierauge mit dem neuen Elektrotonometer der Firma MUELLER der Streubereich der Messwerte bei 8-10maligem Aufsetzen des Tonometers zu gross war. (ROHRSCHEIDER und KÜCHLE erzielten mit dieser Methode auch im Tierversuch mit dem Tonometer von SCHIÖTZ exakte Werte). Wir mussten vielmehr jede einzelne Messung durch dreimaliges kurzes Aufsetzen des Tonometers festlegen und daraus einen brauchbaren Wert für den "methodischen Messfehler" der Tonometrie ermitteln, sodass wir also jeweils 24-30 Messungen (8-10 Messgruppen) durchführten. Dieses Vorgehen musste wegen der früher beschriebenen drucksenkenden Massagewirkung, bedingt durch die Unruhe des Kaninchenauges, den Bau des Elektrotonometers und der daraus resultierenden relativ längeren Messzeit angewandt werden. Es ergab sich aus unseren Untersuchungen ein Streubereich der einzelnen Messwerte von $\pm 1,2$ Teilstrichen.

Beim menschlichen Auge genügte aus dargelegten Gründen die Bestimmung des "methodischen Messfehlers" durch 8 bis 15 Einzelmessungen, um daraus den Streubereich festlegen zu können. Er lag, wie bei ROHRSCHEIDER und KÜCHLE, die mit dem Schiötztonometer arbeiteten, bei $\pm 1,0$ Teilstrichen.

Die Untersuchung am Tierauge mit dem Elektrotonometer der Firma V. MUELLER muss im Grossen und Ganzen als technisch schwieriger angesehen werden als die mit dem Tonometer von SCHIÖTZ. Die Gründe hierfür liegen im Bau des Gerätes an sich (hohe Empfindlichkeit bei nicht ganz einfacher Ablesbarkeit infolge räumlicher Trennung von Messkopf und Anzeigeskala, grosse Beeinflussbarkeit durch leichtes Verkanten des Messkopfes bei falscher Handhabung etc.) und anderen im Einzelfall nur schwer analysierbaren Fehlermöglichkeiten.

ten der Tonometrie am Kaninchenauge. Bei geübten Untersuchern lässt sich ein grosser Teil der erwähnten Momente jedoch ausschalten.

Legt man nach unseren Untersuchungen bei strengem Beurteilungsmassstab (wir berücksichtigten den dreifachen mittleren Messfehler) als "methodischen Messfehler" der Tonometrie am Kaninchenauge - nach unserer Messtechnik - $\pm 1,2$ Teilstriche zugrunde, so werden auch relativ geringe Tensionsschwankungen mit dem Gerät erfasst werden können. Trifft man dann noch eine entsprechende Auswahl der Tiere bei möglichster Ausschaltung anderer Fehlerquellen, so sind die Resultate besser, als die mit dem SCHIÖTZ-Tonometer gewonnenen. Es gibt zahlreiche Tiere, die sich besonders gut messen lassen (mittlerer Messfehler bis zu $\pm 0,2$ Teilstrichen) und solche, die z.B. infolge ihres Temperaments für Messungen weniger geeignet sind. Derartige Tiere benutzt man möglichst nicht zu tonometrischen Untersuchungen. Durch diese Massnahme erhält man genauer beurteilbare Ergebnisse. Bei Versuchen am Kaninchenauge sind Messwerte nur dann im Sinne einer Augendruckänderung zu verwerten, wenn sie jenseits der individuell ermittelten Streubereiche liegen. Diese etwas umständliche und zeitraubende Vorarbeit der Feststellung der individuellen Streubreite macht sich für Experimente durch bessere Beurteilungsmöglichkeit bezahlt. Wenn man sich die Mühe der Vorarbeit jedoch sparen will oder wenn es sich um die Auswertung schon vorliegender eigener Ergebnisse handelt bzw. um die kritische Beurteilung von Ergebnissen anderer Autoren, empfehlen wir, als Grösse des "methodischen Messfehlers" $\pm 1,2$ Teilstriche anzunehmen.

Im übrigen ist für Tierversuche eine mehrwöchige Untersuchungspraxis der Untersucher aus Gründen des hier besonders wichtigen guten team works ausserordentlich empfehlenswert. Unter Berücksichtigung aller erwähnten Momente sei abschliessend herausgestellt, dass das Elektrotonometer bei sachkundiger Handhabung und möglichster Vermeidung von Fehlerquellen besseres leistet als das Tonometer von SCHIÖTZ. Dieses unterscheidet sich vom MUELLER-Tonometer vor allem durch sein weniger empfindliches Zeigersystem und die kleinere und weniger unterteilte Skala. Routinearbeit und entsprechende Vertrautheit mit dem Elektrotonometer von MUELLER sind Voraussetzung für gute Messergebnisse am Kaninchen und am menschlichen Auge.

Literatur

1. Bliedung, C. Arch. Augenheilkunde 92, 143, 1923
2. Comberg, W. u.E. Stoewer: Z.Augenheilk. 58, 92, 1926
3. Davson, H. and C. Purvis: Brit.J. Opht. 34, 315, 1915
4. Duke - Elder, W.S.P.M., Duke - Elder and J.C.Colle:
Brit. J. Opht. 15, 575, 1931
5. Franz, V. Arch. vergl. Opht. 2, 180, 1911
6. Grant, W.M. Tonography in Chronic Glaucoma, Jan. 1956
New York State Journal of Medicine Vol. 56, No.2, Jan. 15
7. Grant, W.M. 1. A.M.A.Arch. Ophtalm.1950 Bd.44, S.204
2. A.M.A.Arch. Ophtalm.1951 Bd.46, S.113
8. Kalfa, S.F.: Ref.Zbl.Opht. 46, 97, 1941
9. Müller, H.K.: Ber.48. D.O.G. 1930, S.147
10. Müller, H.K.: Arch. Augenheilk. 105, 516, 1932
11. Poos, F.: Klin.Mbl. Augenheilk. 84, 349, 1930
12. Rohrschneider u.Küchle: Opht. Vol. 128, 1954, S.369-379
13. Schiötz, Hj.: Brit. J.Opht. 4, 201 und 249, 1920
Ref. Zbl. Opht. 3, 473, 1920
14. Schmerl u.Steinberg: Amer.J.Opht. 29, 1400, 1946
15. Seidel, E.: Abderhaldens Handbuch d.biol.Arb.meth.Abt.V,
Teil 6, 2.Hälfte Lichtsinn und Auge 2, S.969 ff, 1937
16. Seidel, E.: Abderhaldens Handbuch der biol.Arb. meth.Abt.V,
Teil 6, S. 969-1018, 1927
17. Weekers, Prijot: Opht. Vol. 123, Nr. 1, 1952
18. Wessely, K.: Arch. Augenheilk. 60, 1 u.97, 1908
19. Wessely, K.: Arch. Augenheilk. 78, 247, 1915
20. Wessely, K.: Heidelberger Kongressbericht 1912
21. Friedenwald u. Kalfa: Zentralbl.f.Opht. Nr.40, 1940

Lebenslauf

Ich wurde am 7. Januar 1931 in Hannover geboren als Sohn des Dipl.-Ing. Hans Diehl und seiner Ehefrau Olga geb. Schwenger. Vom Jahre 1937 bis zum Jahre 1941 besuchte ich die Volksschule in Weimar, Würzburg und Wien, danach zunächst das humanistische Gymnasium bis zur vierten Klasse ebenfalls in Wien. Im Zuge der Aussiedlung aller Deutschen aus Österreich kam ich mit meiner Mutter und meiner Schwester nach Kriegsende zu meinen Grosseltern nach Harburg/Schwaben und trat in die Oberrealschule für Jungen in Nördlingen/Ries ein, wo ich 1950 das Zeugnis der Reife erwarb. Im Wintersemester 1950/51 begann ich das Medizinstudium an der Friedrich-Alexander-Universität zu Erlangen; dort legte ich im Jahre 1953 die ärztliche Vorprüfung ab. Ich studierte daraufhin noch ein klinisches Semester in Erlangen, um mich im Wintersemester 1953/54 an der Ludwig-Maximilians-Universität in München zu immatrikulieren. In München beendete ich das Medizinstudium im Jahre 1956. Von August 1956 bis Januar 1957 war ich als Medizinalassistent an der Universitätsaugenklinik in München, anschliessend bis Ende Juli 1957 am Städtischen Chirurgischen Krankenhaus München-Nord tätig. Vom 15. September 1957 bis Ende Juni 1958 war ich als Medizinalassistent am Kreiskrankenhaus des Kreises Norden in Hage/Ostfriesland.

